

Préface

Dans le cadre du domaine éditorial pluridisciplinaire « Système Terre – Environnement » des éditions scientifiques ISTE, nous présentons aujourd’hui une série d’ouvrages consacrée à l’écotoxicologie, coordonnée par Jeanne Garric, assistée d’un comité éditorial rassemblant des scientifiques reconnus, issus d’organismes de recherche, d’universités et d’agences nationales investis dans ce domaine de recherche¹.

Parmi les grands sujets scientifiques qui questionnent notre environnement et les brutales détériorations qu’il va subir, qu’il subit ou qu’il a subi, il est impératif de lever de nombreux verrous scientifiques et technologiques pour ce qui concerne l’analyse :

- du devenir de substances potentiellement toxiques dans l’ensemble des composantes des écosystèmes, d’origine artificielle ou naturelle (dont la répartition a pu être modifiée par l’Homme) ;

- de leurs effets sur toutes ces composantes, effets directs ou associés éventuellement à leurs métabolites ;

- des conséquences sur ces composantes des interactions entre plusieurs de ces molécules, quelles qu’en soient les doses ;

- des sensibilités respectives des acteurs de ces composantes aux différents contaminants, à leurs associations, à leurs effets au cours de longues périodes d’exposition, etc.

1. A. Bispo, C. Grand (Ademe) ; C. Bernard (MNHM) ; H. Budzinski (CNRS) ; Y. Burgeot (Ifremer) ; E.M. Gross (Université de Lorraine) ; C. Minier (ONEMA) ; C. Mougin (INRA) ; A. Péry (AgroParisTech) ; V. Poulsen (ANSES) ; E. Uher (Irstea) ; E. Thybaud (INERIS) ; M.H. Tusseau-Vuillemin (Ifremer) ; P. Vasseur (Université de Lorraine).

C'est là, pour une partie essentielle, l'objectif de cette discipline scientifique récente qu'est l'écotoxicologie, qui, au-delà de l'acquisition de connaissances sur le danger et la probabilité d'exposition aux contaminants d'origine naturelle ou anthropique, vise à prédire et prévenir les risques associés à des pollutions chimiques toxiques sur les écosystèmes, risques immédiats mais qui s'inscrivent également dans le long terme.

A l'interface entre la toxicologie et l'écologie, il s'agit bien là d'une discipline-clé, pour répondre : aux enjeux sociétaux de développement durable, aux questions relatives à la santé environnementale *via* l'exposition aux milieux et aux ressources contaminés, aux défis de la biodiversité *via* le rôle des impacts chimiques naturels et anthropiques sur les écosystèmes au long terme, aux conséquences du développement des nouvelles technologies (nouveaux matériaux, nouvelles ressources énergétiques, etc.). En cela, cette discipline se positionne en bonne place dans nombre des « objectifs de développement durable » de l'ONU.

Les besoins de connaissances, d'approches pluridisciplinaires y sont incontournables car on doit prendre en compte des systèmes multi-factoriels complexes, dans tous les milieux (hydrosphère, pédosphère, atmosphère). La modélisation doit y prendre une part essentielle. On se doit d'intégrer un grand nombre d'échelles spatiales, en suivant l'évolution de la contamination et des conditions d'habitats, d'échelles temporelles, par l'analyse d'effets différés, de l'adaptation des populations et enfin de niveaux d'organisation biologiques, de la molécule à l'écosystème, en passant par la dynamique des populations.

Bien évidemment, les nécessaires allers-retours entre prédictions et impacts réels dans les écosystèmes rendent impératifs l'élaboration et le couplage d'approches expérimentales affûtées à des observations au très long terme. Ce n'est qu'ainsi que seront élaborés des outils fiables utilisables pour la prévision des risques écologiques et la gestion concrète des milieux par les pouvoirs publics et les collectivités (par exemple la gestion des sites et sols pollués), répondant aux besoins de surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, notamment en lien avec les directives européennes (exemple : directive-cadre sur l'eau) ou internationales (exemple : convention OSPAR, convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est).

Cette discipline s'inscrit également dans la perspective de grands enjeux internationaux sur le plan économique : standard ISO pour évaluer la qualité des milieux ou OCDE pour l'homologation des substances, en réponse au règlement européen REACH, visant à mieux protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques liés à l'utilisation et la dissémination de toute substance chimique, industrielle ou de la vie de tous les jours.

L'écotoxicologie a ainsi de très nombreux défis à relever : de la complexité des milieux, des interactions entre molécules, du couplage transfert-transformation des contaminants, de l'analyse au long terme, notamment pour ce qui concerne les effets des faibles doses et des effets de multi-pollutions, etc. De nouveaux défis doivent aussi être relevés, par exemple l'émergence des techniques « omiques » qui permettent d'acquérir de grandes quantités de données à l'échelle moléculaire et de décrire les mécanismes à des échelles de plus en plus fines, mais qui, après leur phase de stockage, restent à interpréter. A ces défis s'ajoute tout ce qui s'adresse aux nouveaux contaminants à évaluer : nanoparticules, microplastiques, etc.

Sans vouloir, sans pouvoir être exhaustive, cette série d'ouvrages se propose de couvrir le plus vaste du champ qui s'offre à elle et de faire un état des lieux des questions, des approches et des outils actuels de l'écotoxicologie :

- la modélisation de l'exposition (biodisponibilité) ou des effets des contaminants ;
- la prise en compte de la vulnérabilité des stades de vie, de la transmission multi-générationnelle des impacts ;
- les effets des substances d'origine naturelle (microalgues ou cyanobactéries toxiques) ou anthropique (tels que les herbicides) sur le fonctionnement des communautés et des écosystèmes ;
- l'analyse des interactions entre des stressseurs multiples (par exemple agents biologiques et pollution, etc.).

Cette série illustre également les démarches et outils de la surveillance et de la gestion, avec des exemples de mise en œuvre d'indicateurs biologiques pour le suivi des milieux aquatique et terrestre, ou la prise en compte et la combinaison dans l'évaluation des risques chimiques pour les écosystèmes, des méthodes classiques et innovantes, en constante évolution.

A ce titre, cette série d'ouvrages, élaborée par des scientifiques de toutes les disciplines et organismes concernés et de haut niveau d'expertise internationale, s'est attachée à développer une approche scientifique réellement pluridisciplinaire, mais également disponible, par l'exigence de la formation et de la diffusion des connaissances, aux décideurs et gestionnaires en charge de l'homéostasie de nos écosystèmes et de notre planète.

Ces ouvrages peuvent être à l'origine d'une plus grande structuration scientifique nationale et internationale autour de ces questions cruciales, qui, en tout état de cause, nécessiteront dans les années à venir une plus grande mobilisation de moyens matériels

et humains, à même de répondre à tous ces défis de connaissance, à ces enjeux sociétaux constitutifs de la survie de notre biosphère et de l'humanité sur cette Terre.

Pour cela nous devons être reconnaissants à tous les auteurs de ces ouvrages, placés sous l'attentive autorité de Jeanne Garric. Ils ont fait œuvre opportune et précieuse.

André MARIOTTI
Professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie
Membre honoraire de l'Institut universitaire de France

Introduction

« Biodisponible » : un mot savant, mais une notion naturelle – ce qui est utile dans la nourriture, ce qui est dangereux dans les contaminants... Une notion très utile, que nous aimerions définir et mesurer aisément. Cependant, la lecture de ce livre montre à quel point la complexité de la nature, de nos environnements est différente.

Là où le scientifique aimerait disposer d'une vision stable et ordonnée de la chimie des contaminants, nous découvrons un système de substances qui s'associent et se dissocient sans cesse des molécules qui les entourent, qui sont transformées par le vivant, parfois au gré des conditions physicochimiques environnantes. L'interaction avec un organisme n'est finalement que l'un, parmi tant d'autres, de ces phénomènes à la dynamique incessante.

De cet environnement dont nos outils peinent encore à capter les variations subtiles, que retiennent les organismes exposés ? L'analyse de leur contamination interne nous renseigne-t-elle de façon plus fiable sur la biodisponibilité des contaminants ? Certes, elle constitue la preuve qu'organisme et contaminant se sont rencontrés. Mais bien vite, nous découvrons les facultés de régulation, d'excrétion, de détoxification de ces organismes, qui n'accumulent pas passivement les substances auxquelles ils sont exposés. Pour interpréter des mesures de bioaccumulation, la biologie est tout aussi importante que la chimie analytique !

De ce constat à l'idée de reproduire de façon artificielle – et bien plus simple – une membrane biologique qui renseignerait le scientifique sur la contamination des milieux, il y a plusieurs pas qui ont été franchis depuis une vingtaine d'années avec le développement des capteurs passifs. Tout à la fois membranes modèles, accumulateurs, intégrateurs, etc., ces nouveaux capteurs ont tellement d'avantages que l'on en a parfois

oublié les limites. Elles sont explorées dans cet ouvrage, qui met également en lumière l'ingéniosité de ces dispositifs.

Au fil des pages, nous comprenons qu'il est bien ambitieux de couvrir d'un seul mot tous les phénomènes qui permettent à une substance présente dans l'environnement de jouer un rôle effectif dans un organisme vivant... La plupart de ces phénomènes se déroulent à l'échelle moléculaire, voire cellulaire. Et des médiateurs ubiquistes sont fréquemment conviés : les micro-organismes. Un chapitre entier leur est dédié, ainsi qu'aux pistes récemment ouvertes qui concernent la façon dont leur présence modifie la biodisponibilité des substances pour d'autres organismes.

Toute cette complexité ne doit pas décourager le lecteur, bien au contraire ! Car c'est elle qui rend le sujet de la biodisponibilité captivant, au carrefour de plusieurs disciplines, ouvrant sans cesse de nouveaux fronts de science. Fort heureusement, les écosystèmes s'adaptent en permanence à leur environnement, le façonnent en retour, et c'est cette dynamique que nous devons chercher à comprendre. Un individu n'est pas isolé ; c'est donc aussi, parfois, dans les modifications de ses interactions avec ses congénères, ses prédateurs ou ses proies, que l'indice premier de la biodisponibilité d'un contaminant est à rechercher. L'enquête s'annonce passionnante, tous les talents sont convoqués. Êtes-vous disponible ?